

Application Brief

使用 TPLD 的安全转矩关闭系统



Malcolm Lyn, Kristen Mogensen

安全转矩关闭 (STO) 是现代电机驱动器、伺服放大器和机器人功率级中最基本且广泛使用的功能安全特性之一。STO 主要在 **IEC 61800-5-2** (可调速电力驱动系统 - 安全要求 - 功能) 中进行定义, 通过防止任何扭矩产生的电力到达电机来确保 *驱动器可靠地无扭矩*。该功能直接映射到停止类别 0 (EN 60204-1), 是符合 **IEC 61508 SIL 3**、**ISO 13849-1** 性能级别 e (PL e) / 类别 3 - 4 以及特定于机器人的标准 (如 **ISO 10218-1/2**) 的核心要求。如应用简报 [使用集成式三相智能栅极驱动器设计更小的 STO 系统](#) 中所述, STO 电路的尺寸受电机系统硬件尺寸的限制, 并且正趋向于减小整体设计尺寸。现代电机驱动系统使用分立式逻辑门、计时器电路、比较器和低通滤波器组件实现具有诊断功能的 STO, 所有这些组件都可以集成到单个 **TI 可编程逻辑器件 (TPLD)** 中。

电机驱动系统的简化 TPLD 安全转矩关闭电路

电机驱动系统中的栅极驱动器特意提供一个 VCC (对于 DRV8350F 等器件, 通常为 VM), 该 FET 应尽可能接近所驱动 FET 的建议 V_{GS} , 以更大限度地减小 $R_{DS(on)}$ 并尽可能降低导通损耗。但是, 功率 FET (尤其是 Si 或 SiC MOSFET) 具有非常严格的最大 V_{GS} 额定值; 因此, 驱动器 VCC 轨上的任何过压都可能会超出栅极电压的此额定值, 从而立即造成损坏。图 1 中所示 STO 电路的主要目标是在发生 STO 命令或检测到故障 (包括电源轨异常) 时立即断开栅极驱动器电源电压 (VM), 从而保护 FET 免受损坏并防止产生扭矩。

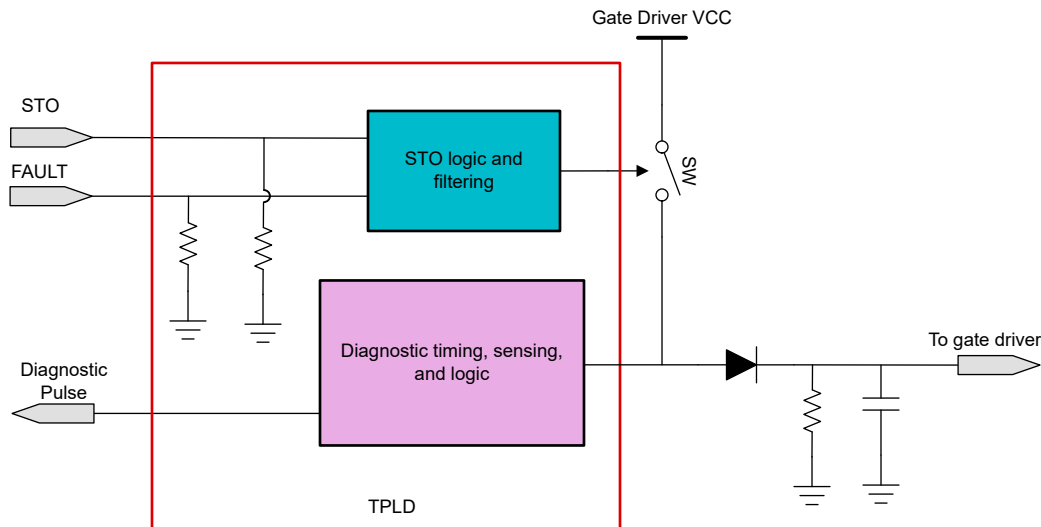


图 1. 典型安全转矩关闭电路的方框图

图 1 中的电路接受两个关键输入：STO（双通道 STO 信号之一，通常通过 24V 安全输入以隔离式 3.3V 逻辑提供）和 FAULT（来自栅极驱动器的故障反馈）。这些信号会路由到 TPLD，该器件将 STO 电路中通常使用的所有分立式逻辑、时序、模拟比较和监测元件集成到单个可编程器件中。这些信号由 TPLD 的片上逻辑进行滤波和处理；如果任一信号降至低电平，则 TPLD 会打开负载开关，并且栅极驱动器电源会断开。

该电路还包含用于定期诊断测试的附加逻辑和时序元件，如紫色框中所示。TPLD 集成的比较器、逻辑和时序元件（例如脉冲发生器和看门狗计时器）可用于强制负载开关短暂断开，并监测开关是否断开。由于下游电容器提供保持功能，因此测试过程中不会中断电机中断。如果根据 TPLD 内部的逻辑开关无法打开或检测到其他问题，集成看门狗会超时并将诊断故障置为有效，从而触发安全状态关断。这种连续的在线自检提供了 SIL 3 (IEC 61508) 和 PL e (ISO 13849-1) 要求的高诊断覆盖率 ($DC \geq 90\%$)，同时支持无损定期校对测试。

TPLD 器件还可以对提供给栅极驱动器的 PWM 信号进行主动控制。每个 PWM 信号都可以通过 TPLD 进行路由和缓冲，当 STO 信号处于活动状态时，其输出可以配置为高阻抗或强制为低电平，以确保栅极驱动器在安全状态期间没有接收到开关命令。

结语

基于 TPLD 的 STO 实现方案提供了一种紧凑的单器件设计，集成了栅极驱动器电源切断、连续 100Hz 诊断脉冲、电源轨监控、看门狗时序和可选的 PWM 禁用。通过取代传统设计（例如 TIDA-01599）所需的多 IC 分立式逻辑和外部 MCU，这些电路可将电路板面积和 BOM 成本缩减 50 - 70%，同时提供真正的仅硬件确定性诊断。这样可以实现高诊断覆盖率和无损防损测试功能，直接满足 IEC 61800-5-2、IEC 61508 SIL 3、ISO 13849-1 PL e/Cat. 3 - 4 和机器人标准 ISO 10218-1 最严格的功能安全要求。因此，工业驱动器、伺服系统和协作机器人的设计人员可以实现经认证的无扭矩操作、更小的占用空间、更少的认证工作量并保持高效率。

通过[可编程逻辑工程师指南](#)了解有关 TPLD 的更多信息。

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月